

# Optimasi Konstruksi Pilar Penyangga *Helideck* KP Yudistira 73 Meter

Albert Caesario dan Dony Setyawan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 60111

e-mail: dony@na.its.ac.id

**Abstrak**—Produk teknologi pada dasarnya harus bisa mempermudah kehidupan manusia dalam memenuhi kebutuhan-kebutuhannya secara umum ataupun khusus. Kapal patroli Yudistira 8003 adalah salah satu produk teknologi perkapalan dalam negeri yang didesain khusus untuk penjagaan ketertiban dan keamanan negara dengan fitur utama kecepatan jelajah 18 Knot, kemampuan angkut 62 personel, sebuah helideck dan dilengkapi oleh meriam tempur haluan. Setiap fitur yang disematkan harusnya dapat memuaskan kebutuhan dan keinginan bagi penggunaannya, memenuhi standar teknis dan legal serta memperhatikan nilai ekonomis. KP. Yudistira 8003 didefinisikan *overdesign* dan tidak memuaskan kebutuhan bagi pengguna ataupun pemilik kapal berdasarkan konfigurasi konstruksi pilar penyangga heliDeck pada bagian buritan yang dianggap terlalu banyak. Area tersebut seharusnya difungsikan untuk area apel personel. Untuk memverifikasi sekaligus mencari solusi akan permasalahan tersebut peneliti melakukan pengujian dan optimasi konstruksi dengan cara mengurangi jumlah pilar penyangga. Penelitian diawali dengan pengujian kondisi tegangan struktur dengan konfigurasi pilar *existing*, pengurangan jumlah pilar satu-persatu dengan berbagai skenario konfigurasi pilar, pengujian setiap skenario, penentuan skenario dan pengujian ulang dengan berbagai variasi pembebanan. Pengujian dilakukan dengan metode elemen hingga secara numerik dan hasil pengujian akan dibandingkan dengan standar teknis klas. Hasil pengujian menunjukkan tegangan maksimum yang terjadi dengan konstruksi *existing* adalah sebesar 42,83 MPa untuk tegangan Von Mises dan tegangan kompresi maksimum pada pilar sebesar 9,38 MPa. Struktur *existing* terdapat 20 pilar penyangga. Setelah dilakukan optimasi didapatkan jumlah pilar penyangga sebanyak 6 buah pilar dengan dimensi pilar yang sama. Tegangan Von Mises yang terjadi sebesar 95,83 MPa dan tegangan kompresi pilar maksimum sebesar 22,58 MPa dengan batasan tegangan izin maksimum sebesar 175 MPa untuk tegangan Von Mises dan 165 MPa untuk tegangan kompresi.

**Kata Kunci**—*Helideck*, Optimasi, Pilar, Tegangan.

## I. PENDAHULUAN

KAPAL adalah produk *engineering* yang ditujukan untuk membantu dan mempermudah pekerjaan pengguna. Kapal dirancang dan dibangun dengan memerhatikan kebutuhan pengguna, biaya, kemampuan teknis dan kemananan. Sebuah produk kapal dianggap baik jika kapal tersebut dapat memaksimalkan fungsi utamanya dengan sumber daya yang sesedikit mungkin dan tetap kuat.

Kekuatan kapal adalah salah satu indikator keselamatan. Kekuatan yang dimaksud adalah ketahanan struktur kapal dalam menerima segala jenis beban kerja yang direncanakan pada kapal tersebut. Kekuatan kapal dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti karakteristik material, desain beban dan

lingkungan. Semakin baik materialnya, maka akan semakin kuat pula. Sebuah struktur harus didesain sesuai dengan kondisi beban yang akan diterima sebuah struktur.

Kapal Patroli Yudhisitira 8003 adalah salah satu produk *engineering* yang saat ini dimiliki oleh Kepolisian Republik Indonesia. Kapal tersebut dituntut untuk bisa melaksanakan tugas patroli di perairan Indonesia dengan kecepatan jelajah 18 knot. Kapal tersebut belum memenuhi persyaratan pemilik pada poin kecepatan jelajah dan fasilitas apel personel. Hal tersebut terindikasi pada *Sea Trial* KP. Yudhistira pada tanggal 18 juli 2018. Selain itu juga secara subjektif ditambahkan oleh pemilik kapal bahwa fasilitas apel personel terlalu sempit oleh banyaknya kontruksi pilar yang dianggap mengganggu. Berdasarkan pertimbangan di atas maka dilakukan optimasi kontruksi pilar pada ruang apel dan Analisis tegangannya pada *Helideck*.

Luaran dari penelitian optimasi meliputi konfigurasi konstruksi pilar yang sesedikit mungkin dengan batasan tegangan struktur tidak lebih dari tegangan izin Biro Klasifikasi Indonesia, bagaimana tegangan yang terjadi pada struktur *existing*, dan bagaimana tegangan yang terjadi pada struktur hasil optimasi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kapal Patroli

Kapal adalah kendaraan air dengan bentuk dan jenis apa pun yang digerakan dengan tenaga mekanik, tenaga mesin, atau tunda, termasuk kendaraan berdaya dukung dinamis, kendaraan dibawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang berpindah-pindah. Kapal patroli adalah kapal angkatan laut kecil, penjaga pantai atau kapal polisi, berukuran lebih kecil daripada korvet, umumnya terlibat dalam berbagai peran perlindungan perbatasan, termasuk anti-penyelundupan, antiteroris, anti-pembajakan, perikanan [1].

### B. Shipboard Heliport atau Helideck

*Shipboard Heliport* adalah area yang diperuntukan untuk pengoperasian helikopter yang berada pada haluan kapal atau buritan kapal atau struktur bangunan di atas Kapal [2]. *Final Approach And Take-Off Area* (FATO) dapat bermacam-macam bentuk, sepanjang luasnya dapat menampung sebuah lingkaran yang mempunyai garis tengah minimal 1 (satu) kali panjang keseluruhan helikopter terbesar beserta rotornya yang akan dioperasikan pada *Helideck* (1D). *Shipboard Heliport* wajib memiliki minimal 1 (satu) buah *Touchdown And Lift-Off Area* (TLOF) dimana TLOF tersebut dapat berhimpitan/menjadi satu dengan FATO [3].

*Helideck* menerima beberapa gaya berbeda yang diambil sebagai pembebanan pada *Helideck*. Gaya-gaya tersebut adalah gaya yang disebabkan oleh pendaratan helikopter (*landing force*), beban angin yang disebabkan oleh perputaran baling-baling helikopter (*wind load*), dan lain-lain. Dalam perhitungan beban dibagi menjadi 4 kasus beban (LC) sesuai dengan kondisi pendaratannya [4]. Pembebanan *helideck* terdiri dari LC1, LC2, LC3 dan LC4.

- 1) *LC1 merepresentasikan kondisi dimana helikopter sudah mendarat diatas Helideck, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut,*

$$P = 0,5 \times G(1+av) \text{ [kN]} \quad (1)$$

(dengan luas gaya 30 x 30 cm<sup>2</sup> tiap kontak roda)

$$\text{Berat geladak} = (Me \times (1 + av)) \text{ [kN]} \quad (2)$$

- 2) *LC2 Kondisi dimana helikopter sudah mendarat diatas Helideck. Gaya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut,*

$$P = 0,5 \times G \text{ [kN]} \quad (3)$$

(dengan luas gaya 30 x 30 cm<sup>2</sup> tiap kontak roda)

$$H = 0,6 \times (G + Me) + W \text{ [kN]} \quad (4)$$

( $V_w = 50 \text{ m/s}$ )

(gaya horizontal di daerah pengikat helikopter)

$$V = G + Me \text{ [kN]} \quad (5)$$

(gaya yang bekerja secara vertical)

$$W = 0,5 \cdot \rho \cdot V_w^2 \cdot A \cdot 10^{-3} \text{ [kN]} \quad (6)$$

*Additional force* = 2.0 kN/m<sup>2</sup>

- 3) *LC 3 Gaya benturan pendaratan normal, dengan gaya berikut yang bekerja secara bersamaan.*

$$P = 0,75 G \text{ [kN]} \quad (7)$$

(Beban roda dan/atau beban kaki P pada 2 titik secara bersamaan, pada titik manapun)

$$\text{Beban } p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \quad (8)$$

(terdistribusi secara merata)

Berat geladak helikopter (Me). Beban angin sesuai dengan kecepatan angin,  $v_w = 25 \text{ m/det}$  dapat digunakan

- 4) *LC 4 Gaya benturan pendaratan normal, dengan gaya berikut yang bekerja secara bersamaan.*

$$P = 1,25 G \text{ [kN]} \quad (9)$$

(Beban roda dan/atau beban kaki P pada 2 titik secara bersamaan, pada titik manapun)

$$\text{Beban } p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \quad (10)$$

(terdistribusi secara merata)

Berat geladak helikopter (Me). Beban angin sesuai dengan kecepatan angin,  $v_w = 25 \text{ m/det}$  dapat digunakan.

### C. Pilar

Pilar adalah vertical support member pada sebuah struktur bangunan dan dapat dibuat sebagai sepotong kayu, beton atau baja, atau dibangun dari batu bata, balok dan sebagainya. Pilar memiliki fungsi sebagai pemikul beban atau penyalur

beban tekan dari struktur yang dipikulnya menuju ke struktur yang ada di bawah pilar itu sendiri. Pilar pada kapal diaplikasikan sebagai pemikul beban geladak yang ada di atasnya. Pada umumnya, Pipa pada kapal baja berbentuk silindris (pipa) dengan diameter dan ketebalan tertentu. Beban yang dialami oleh pilar didominasi oleh beban vertikal.

Luas penampang minimum pilar secara langsung dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu beban yang dipikul oleh pilar itu sendiri ( $P_s$ ) dan besarnya tegangan izin yang mampu dialami oleh pilar tersebut ( $\sigma_p$ ). berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia dapat dilihat pada persamaan 11

$$A_{req} = 10 P_s / \sigma_p \text{ [cm}^2\text{]} \quad (11)$$

Pembebanan pada pilar dirumuskan oleh BKI dalam persamaan 12.

$$P_s = P \times A + P_i \text{ [kN]} \quad (12)$$

Dimana A adalah luas penampang pilar, P adalah beban yang diterima pilar dan  $P_i$  adalah beban akibat pilar di atasnya [5].

### D. Tegangan dan Regangan

Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda [5]. Dalam konteks ini potongan yang dimaksud adalah potongan sebuah material yang diasumsikan sebagai suatu balok, pipa atau potongan lain yang bentuknya lebih sederhana. Tegangan pada suatu material akan menyebabkan perubahan bentuk struktur material secara keseluruhan yang bisa disebut deformasi (regangan).

Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk [6]. Perubahan bentuk bergantung tidak hanya pada besar dan arah tegangan, namun juga oleh karakteristik material tersebut

### E. Tegangan Von Misses

Tegangan Von Misses adalah kombinasi geometris dari semua jenis tegangan yaitu tegangan normal pada tiga sumbu dan tegangan geser yang bereaksi pada area tertentu. Tegangan Von Misses cocok digunakan untuk material yang bersifat ulet. Jika nilai Tegangan Von Misses pada suatu lokasi melampaui nilai yield strength sebuah material maka material tersebut akan meluluh pada lokasi tersebut. Apabila nilai tegangan Von Misses pada suatu titik melampaui nilai ultimate strength material, maka material tersebut akan pecah [7].

### F. Tegangan Von Misses Izin

Tegangan maksimum material pada dasarnya dibatasi oleh titik luluh dan titik pecah material itu sendiri. Namun pada praktisnya, terdapat beberapa faktor yang mungkin tidak terdefinisi sehingga diperlukan perhitungan batas tegangan tertentu yang bisa dianggap aman sekalipun sebuah struktur mengalami kondisi yang ekstrem. Berdasarkan Rules Biro Klasifikasi Indoneisa, tegangan izin sebuah material dirumuskan sebagai berikut

$$\sigma_{perm} = 235 / (k \times \gamma_f) \quad (13)$$

### G. Tegangan Kompresi

Apabila sebuah batang ditarik dengan gaya  $P$ , maka tegangannya adalah tegangan tarik (*tensile stress*); apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya, sehingga menyebabkan batang tersebut mengalami tekan, maka terjadi tegangan tekan (*compressive stress*). Karena tegangan ini mempunyai arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka tegangan ini disebut tegangan normal (*normal stress*). Jadi, tegangan normal dapat berupa tarik atau tekan [8].

$$\sigma_n = P / A \quad (14)$$

### H. Tegangan Kompresi Izin

Tegangan Kompresi Izin adalah besar tegangan tekan maksimum yang jika terjadi pada suatu struktur maka struktur tersebut masih aman dan kuat untuk mempertahankan kondisinya. Tegangan kompresi izin dalam hal ini diatur dalam Rules Biro Klasifikasi Indonesia dengan persamaan sebagai berikut,

$$\sigma_p = (K \cdot R_{eH}) / S \quad (15)$$

### I. Batasan, Fungsi Objektif dan Klasifikasi Masalah Optimasi

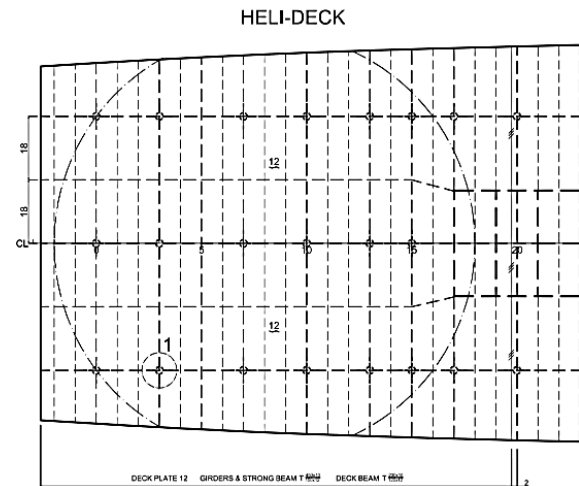
Setiap sistem atau komponen teknik ditentukan oleh sejumlah kuantitas yang beberapa di antaranya dipandang sebagai variabel selama proses desain. Secara umum, jumlah tertentu biasanya ditetapkan pada awal dan ini disebut parameter yang 'ditugaskan sebelumnya'. Dalam banyak masalah praktis, variabel desain tidak dapat dipilih secara sewenang-wenang; melainkan, mereka harus memenuhi persyaratan fungsional dan persyaratan tertentu. Pembatasan yang harus dipenuhi untuk menghasilkan desain yang dapat diterima secara kolektif disebut kendala desain atau *design constraint*. Kendala yang mewakili keterbatasan perilaku atau kinerja sistem disebut perilaku atau kendala fungsional (*functional constraint*). Kendala yang mewakili keterbatasan fisik pada variabel desain, seperti ketersediaan, keterkaitan, dan kemampuan pengangkutan, dikenal sebagai batasan geometris [9].

Masalah-masalah optimasi klasifikasikan dalam beberapa kategori bergantung dari aspek yang ditinjau, dalam penelitian ini peninjauan dititikberatkan berdasarkan nilai yang diizinkan dari variabel desain dan banyaknya fungsi objektif. Batasan yang dimaksud adalah nilai tegangan yang terjadi pada struktur geladak, pilar dan titik pilar khusus. Fungsi objektifnya adalah meminimasi jumlah pilar.

## III. METODOLOGI

### A. Penggambaran Ulang Helideck

Data yang didapat tidak menyajikan kondisi Helideck secara utuh dalam satu gambar. Oleh karena itu dilakukan penggambaran ulang untuk menyederhanakan gambar-gambar yang ada menjadi suatu gambar acuan yang bisa memenuhi kebutuhan penelitian. Penggambaran ulang dilakukan tanpa mengurangi atau merubah konstruksi yang ada, namun melengkapi gambar Helideck dan mendetailkan beberapa konstruksi agar lebih jelas dan terdefinisi. Hasil Penggambaran ulang dapat dilihat pada Gambar 1 yang merincikan letak pilar-pilar yang menyangga helikopter, serta detail konstruksi pilar penyangga.



Gambar 1. Hasil Redrawing Konstruksi Helideck KP Yudistira 8003

### B. Penentuan Variasi

Penentuan variasi pada kondisi pembebanan yang dimaksud meliputi jenis-jenis gaya yang bekerja pada geladak, besar gaya yang bekerja pada geladak, dan titik kontak gaya yang bekerja pada geladak. Untuk lebih jelasnya, penjelasan kondisi pembebanan bisa dilihat pada Tabel 1.

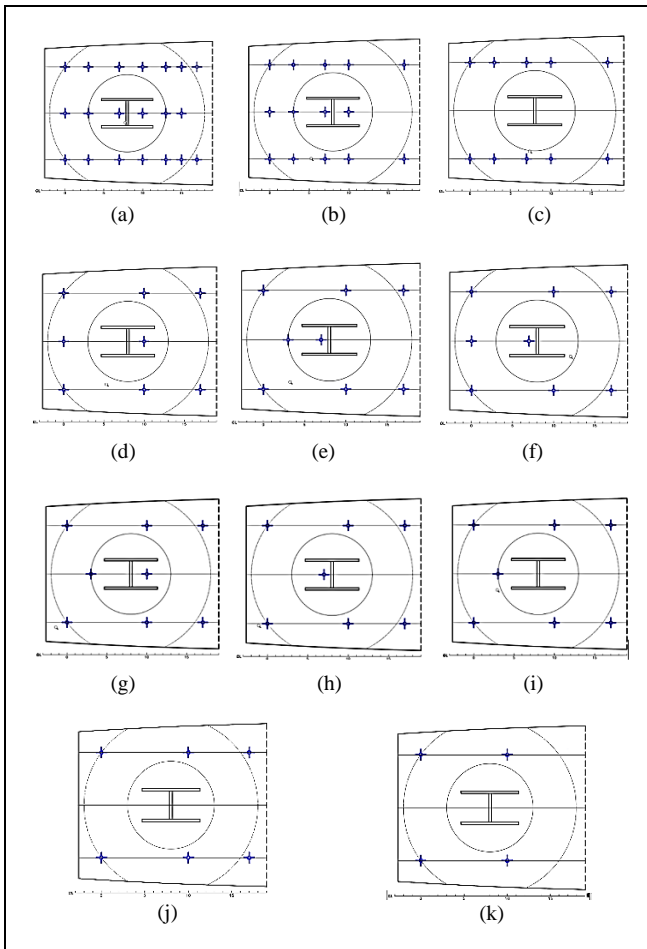
Tabel 1.  
Variasi Pembebanan pada Helideck

LC	Jenis Beban	Titik Kontak	Besar (kN)
1	a. Berat Konstruksi Geladak	Terdistribusi	27,648
	b. Beban Helikopter	Roda Belakang Kiri	13,500
		Roda Belakang Kanan	13,500
	c. Kondisi <i>take off</i>	Terdistribusi	249,240
2	a. Berat Konstruksi Geladak	Terdistribusi	27,648
	b. Gaya Vertikal Helikopter	Roda Belakang Kiri	16,130
		Roda Belakang Kanan	16,130
		Roda Depan	10,750
	c. Beban Geladak (Me)	Terdistribusi	22,018
3	a. Berat Konstruksi Geladak	Terdistribusi	27,648
	b. Gaya <i>Landing</i>	Roda Belakang Kiri	16,130
		Roda Belakang Kanan	16,130
	c. Kondisi <i>Landing</i>	Terdistribusi	62,310
	d. Beban Angin	Terdistribusi	186,930
4	a. Berat Konstruksi Geladak	Terdistribusi	27,647
	b. Gaya <i>Landing</i>	Roda Belakang Kiri	26,870
		Roda Belakang Kanan	26,870
	c. Kondisi <i>Landing</i>	Terdistribusi	62,31
	d. Beban Angin	Terdistribusi	186,93

### C. Skenario dan Konfigurasi Pilar - SK

Skenario konfigurasi pilar dilakukan untuk menemukan variasi dan kombinasi pengurangan struktur pilar untuk diAnalisis pada tahap selanjutnya. Konfigurasi dilakukan dengan cara mendesain rencana pengurangan pilar penyangga Helideck. Pengurangan dilakukan secara bertahap, mempertimbangkan kesimetrisan konstruksi dan peran konstruksi pilar itu sendiri. Setiap skenario konfigurasi pilar akan diAnalisis secara numerik hingga menghasilkan suatu nilai tertentu dengan luaran akhir pemilihan skenario konfigurasi pilar yang paling optimal. Optimal yang dimaksud adalah konfigurasi dengan jumlah pilar yang paling sedikit dan mampu memikul geladak pada setiap kondisi beban sesuai dengan standar BKI. Skenario konfigurasi pilar selanjutnya akan disebut (SK) dan dapat dilihat pada Gambar 2 dimana (a) merepresentasikan SK1, (b) merepresentasikan SK2, (c) merepresentasikan SK3, (d) untuk SK4, (e) untuk

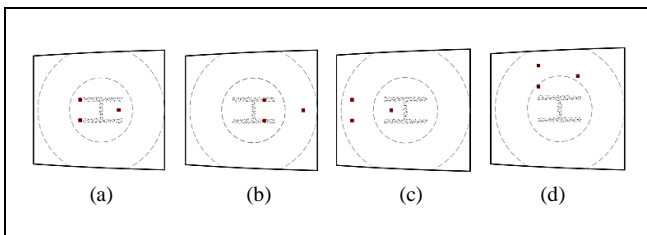
SK5, (f) untuk SK6, (g) untuk SK7, (h) untuk SK8, (i) untuk SK9, (j) untuk SK 10 dan (k) untuk SK 11.



Gambar 2. Skenario Optimasi Pilar

#### D. Skenario Pendaratan

Skenario pendaratan dilakukan untuk memastikan bahwa geladak yang telah dioptimasi mampu menunjang pendaratan helikopter dalam beberapa skenario yang mungkin saja terjadi. Secara ideal, sebuah helikopter akan mendaratkan helikopternya tepat di tengah *Helipad* dan titik kontak roda helikopter berada di dalam lingkaran *helipad* (a), namun pada beberapa kondisi pendarat sebuah helikopter tidak berjalan lurus atau mendarat dengan sempurna. Ketidaksempurnaan dalam pendaratan dalam penelitian ini diasumsikan helikopter mendarat pada titik yang jaraknya sejauh 0,5 diameter *helipad* ke arah haluan (b), sejauh 0,5 diameter *helipad* ke arah buritan (c), sejauh 0,5 diameter *helipad* ke arah *portside*(d). Dimana 0,5 diameter *helipad* setara dengan 5,97 meter. Skenario jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.

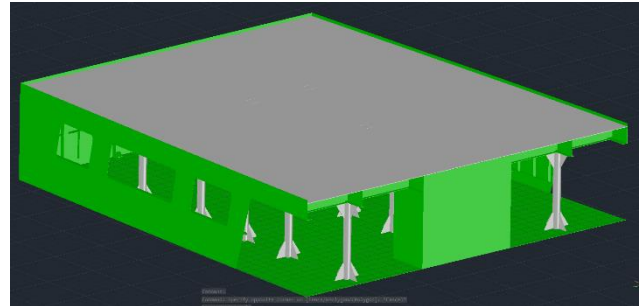


Gambar 3. Variasi Titik Pendaratan

#### E. Permodelan Helideck

Pemodelan *Helideck* adalah tahap pengonversian data-data gambar yang telah ada menjadi sebuah model tiga dimensi

yang nantinya akan diAnalisis. Pemodelan dilakukan menggunakan *software Computer Aided Design (CAD)* dengan fitur tiga dimensi. Data yang dijadikan acuan dalam pemodelan tiga dimensi terdiri dari Rencana Umum KP. Yudistira 8003, *Construction Profile* KP. Yudistira 8003, *After Construction* KP Yudistira 8003, dan *Helideck Construction* KP Yudistira 8003. Pemodelan tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Tiga Dimensi *Helideck*

#### F. Analisis Numerik

Analisis numerik adalah tahap dimana model representatif diuji dan dianalisis menggunakan metode elemen hingga berbasis *Software*. Luaran proses ini yaitu meliputi tegangan Von Mises maksimal pada struktur dan sub-struktur pada tiap skenario konfigurasi struktur pilar dan skenario pendaratan akibat beban-beban yang bekerja pada geladak tersebut.

Analisis numerik terdiri dari tiga tahap utama yaitu *Pre-Processor*, *Solver* dan *Post-Processor*. Tahap *Pre-processor* meliputi proses-proses berikut,

##### 1) Input Material

Input material pada penelitian ini yaitu pemilihan dan pengaturan karakteristik material yang dipakai dalam model yang akan diuji. Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Structural Steel* atau baja struktur grade AH36. Gambar III.22 terlihat bagaimana pengonfigurasi karakteristik material dilakukan berdasarkan katalog baja AH36 terdaftar. Pengonfigurasi dilakukan pada nilai massa jenis, Modulus Elastisitas (Young), *Poisson's Ratio*, *Tensile Yield Strength*, dan *Tensile Ultimate Strength*.

##### 2) Input Geometri

Input Geometri pada penelitian ini dilakukan dengan mengimpor model yang sebelumnya dilakukan pada tahap pemodelan oleh *Software CAD*.

##### 3) Konfigurasi Model – Meshing

Konfigurasi model meliputi pengecekan bagian-bagian pada model yang terdiri dari pengecekan properties model dan sambungan-sambungan yang terdapat pada model. Setiap bagian pada model dipastikan terdefinisi sebagai sebuah materi pejal atau pada perangkat ini dikenal dengan sebutan *Body*. Pengecekan sambungan dalam hal ini yaitu untuk memastikan tiap kontak yang terdapat diantara komponen terdefinisi sesuai dengan kondisi model yang diwakilkannya. Setelah memastikan bahwa model terdefinisi sebagai benda *solid* dan tiap kontak telah terdefinisi sesuai dengan kondisi aslinya, maka tahap selanjutnya adalah tahap distritisasi atau *meshing*.

#### G. Optimasi Helideck

Optimasi *Helideck* adalah tahap dimana model diuji dengan tujuan atau fungsi objektif utama yaitu

meminimumkan jumlah pilar penyangg yang terpasang pada struktur *Helideck* KP Yudistira 8003. Berdasarkan Sub-bab II.1.12, Fungsi obyektif pada optimasi ini adalah nilai minimum pilar yang terpasang, dengan batasan-batasan sebagai berikut,

- Pilar sisi pada gading nomor 0 (AP) dan nomor 5 harus tetap ada,
- Tegangan Von Misses global tidak boleh lebih dari tegangan izin BKI yang akan dijelaskan pada bab Analisis,
- Tegangan Von Misses lokal tidak boleh lebih dari tegangan izin BKI yang akan dijelaskan pada bab Analisis

Optimasi dilakukan dengan cara mengurangi satu persatu atau beberapa pasang pilar secara bertahap dan setiap model akan diuji dengan tiap kondisi beban (LC 1, LC 2, LC 3 dan LC 4). Jika model tegangan yang terjadi pada *Helideck* masih dibawah tegangan izin yang disyaratkan, maka iterasi akan dilakukan dengan cara mengurangi pilar pada model, lalu memberi kondisi beban yang sama dan seterusnya hingga salah satu kendala tercapai. Model hasil optimasi diuji kembali dengan variasi pembebanan tambahan, untuk memastikan faktor keamanan dan persyaratan teknis BKI. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan pendaratan darurat (LC 4) pada tiga empat kontak pendaratan yang berbeda (LP 1, LP 2, LP 3 dan LP4). LP1 merepresentasikan pendaratan ideal, LP2 pendaratan bergeser ke arah haluan, LP3 bergeser ke arah buritan dan LP 4 ke arah sisi kapal. Pergeseran pada tiap skenario sebesar 0,5 D (diameter rotor Helikopter).

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Tegangan Izin

Perhitungan nilai tegangan izin dilakukan untuk membatasi nilai tegangan struktur optimasi dapat dikatakan aman atau tidak. Tegangan izin pada tiap *Helideck* dapat dilihat pada tabel 2 bahwa tegangan izin Von Mises pada Struktur *Helideck* secara global sebesar 175 Mpa dan tegangan kompresi izin pada pilar penumpu *helideck* sebesar 165 Mpa. Tegangan ini dijadikan acuan untuk analisa selanjutnya.

Tabel 2.  
Tegangan Izin Struktur *Helideck*

No	Area	$\sigma$ Izin	Tipe Tegangan
1	Deck Beam	175 MPa	Von Misses
2	Strong Beam	175 MPa	Von Misses
3	Deck Girder	175 MPa	Von Misses
4	Pelat	175 MPa	Von Misses
5	Pilar	165 MPa	Von Misses & Kompresi

##### B. Tegangan Model Existing

Analisa tegangan struktur *existing* dilakukan untuk mengetahui kondisi tegangan yang terjadi pada struktur sebelum dioptimasi. Tujuan selanjutnya yaitu untuk menentukan jenis pembebanan yang akan disimulasikan pada tahap optimasi. Simulasi dilakukan pembebanan LC1, LC2, LC3 dan LC4. Tegangan terbesar akan dijadikan input beban pada proses optimasi. Hasil simulasi Model *existing* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 dijelaskan bahwa tegangan terbesar pada struktur *existing* terjadi ketika struktur diberi jenis pembebanan LC4 dengan besar tegangan global 42,83 Mpa dan tegangan

kompresi pada pilar sebesar 9,38 Mpa. Tegangan Von Mises izin global sebesar 175 MPa dan tegangan kompresi izin sebesar 165 Mpa. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa jenis pembebanan yang digunakan dalam proses optimasi adalah LC4, serta dapat disimpulkan juga bahwa struktur *existing* cukup kuat untuk menumpu beban LC1, LC2, LC3 dan LC4.

Tabel 3.  
Tegangan pada Model Existing Terhadap Variasi Pembebanan

LC	Tegangan Von Mises Maksimum (MPa)	Tegangan Von Mises Izin (MPa)	Tegangan Kompresi Maksimum (MPa)	Tegangan Kompresi Izin (MPa)
1	21.80	175	6.07	165
2	23.62	175	4.14	165
3	20.56	175	2.45	165
4	42.83	175	9.38	165

##### C. Simulasi Optimasi

Simulasi dilakukan pada tiap skenario struktur untuk mengetahui dan menentukan struktur yang optimal ditinjau dari jumlah pilar dan tegangan yang terjadi. Hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.  
Hasil Simulasi Skenario Optimasi *Helideck*

No. SK	Occurred Stresses (Mpa)		Permissible Stress (Mpa)	
	Global Von Misses	Pillars Compressive	Global	Pillars
1	42.83	9.38	175	165
2	42.81	9.23	175	165
3	65.57	26.75	175	165
4	55.72	39.44	175	165
5	40.41	34.84	175	165
6	41.32	48.72	175	165
7	41.12	47.92	175	165
8	47.96	56.56	175	165
9	49.76	57.25	175	165
10	94.68	21.40	175	165
11	94.72	21.60	175	165

Terlihat pada Tabel 4 bahwa skenario *helideck* 1 sampai dengan 10 mengalami tegangan yang besarnya tidak melebihi tegangan izin. Tegangan yang dimaksud adalah tegangan Von Misses global maupun tegangan kompresi pada pilar. Tegangan Von Misses global terbesar terjadi pada skenario 10 yaitu sebesar 94,68 MPa dan tegangan kompresi terbesar terjadi pada skenario 9 yaitu sebesar 57,25 MPa.

Ditinjau dari jumlah pilarnya, skenario 10 memiliki sebanyak enam buah pilarr penyangga *helideck*, paling sedikit dibandingkan skenario lainnya. Tegangan Von Misses dan tegangan kompresi pilar pada skenario 10 besarnya tidak melebihi tegangan izin. Besar tegangan Von Misses global 94,68 MPa dari batas tegangan 175 MPa dan besar tegangan kompresi izin sebesar 21,40 MPa dari 165 MPa. Oleh sebab itu, maka skenario 10 dijadikan sebagai struktur yang dianggap optimal.

##### D. Pengujian Titik Pendaratan

Pengujian titik pendaratan dilakukan untuk mengetahui kondisi struktur hasil optimasi ketika diberi kasus pembebanan yang bervariasi letak titik pendaratannya. Variasi titik darat terdiri dari LP1, LP2, LP3 dan LP4. Luaran dari bagian ini yaitu untuk mengetahui kondisi tegangan Von Mises pada struktur *helideck* dan tegangan kompresi pada struktur pilar. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.



Tabel 5.  
Tegangan pada Sub-Struktur Helideck Terhadap Variasi Pendaratan

LP No.	Tegangan Hasil Simulasi pada Sub Struktur			
	Von Misses (Mpa)	Kompresi (Mpa)		
	Plate	Girder	Stiffener	Pilar
LP 1	41.58	42.36	94.72	21.60
LP 2	40.64	45.16	80.77	22.18
LP 3	40.59	30.76	95.83	18.16
LP 4	39.28	46.46	80.47	22.58
Tegangan Izin (Mpa)	175	175	175	165

Tabel 5 terlihat bahwa tegangan Von Misses yang terjadi sebesar 95,83 MPa tidak melebihi tegangan izinnnya dengan batas 175 MPa. Tegangan kompresi yang terjadi sebesar 22,58 MPa dari batas tegangan kompresi izin sebesar 165 MPa. Tegangan Von Misses terbesar terjadi pada struktur *stiffener* dengan rentan tegangan 80,77 MPa sampai dengan 95,83 MPa. Sedangkan tegangan kompresi pilar terjadi pada rentan 18,16 MPa sampai dengan 22,58 MPa. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa struktur skenario 10 masih kuat untuk menumpu beban LC4 pada titik pendaratan LP1, LP2, LP3 ataupun LP4.

## V. KESIMPULAN

Skenario *helideck* yang optimal adalah Skenario ke-11 dengan jumlah pilar penyangga sebanyak enam buah, masing-masing terpasang di sisi starboard dan portside kapal pada nomor gading 0 dan 17. Tidak ada perubahan struktur, konfigurasi dan ukuran konstruksi selain konfigurasi pilar.

Kondisi tegangan pada struktur exisiting didapati tegangan Von Misses maksimum yang terjadi secara global adalah sebesar 42,83 MPa yang disebabkan oleh beban pendaratan darurat atau *crash landing*. Sedangkan tegangan kompresi terbesar terjadi akibat beban pendaratan darurat dengan besar tegangan kompresi 9,38 Mpa. Kedua nilai tegangan berada di bawah batas tegangan izin.

Kondisi tegangan pada struktur hasil optimasi didapati tegangan Von Misses maksimum global terjadi ketika *helideck* dibebani oleh pendaratan darurat helikopter dengan titik pendaratan bergeser 0,5D ke arah buritan dari titik darat seharusnya. Besar tegangan Von Misses sebesar 95,83 MPa. Sedangkan tegangan kompresi pilar maksimum terjadi ketika *helideck* dibebani oleh pendaratan darurat helikopter dengan titik pendaratan bergeser 0,5D ke arah *portside* dari titik darat seharusnya. Besar tegangan kompresi yang terjadi sebesar 22,58 MPa. Nilai tegangan-tegangan yang terjadi masih berada di bawah batas tegangan izin yang ditentukan oleh klas.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut diharapkan agar peneliti mempertimbangan beban gelombang, kondisi trim serta kondisi kapal dalam kecepatan operasional untuk hasil yang lebih riil.

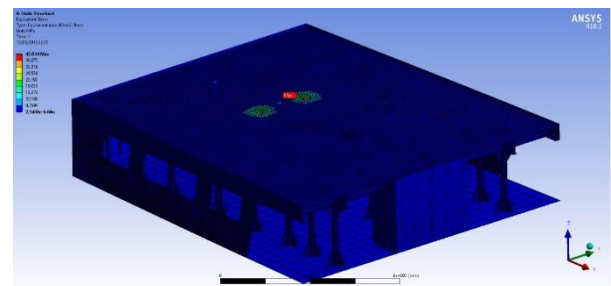
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BASARNAS, "Peraturan Kepala Badan SAR Nasional No. PK 14 Tahun 2012 Tentang Standarisasi Sarana SAR Di Lingkungan Badan SAR Nasional," 2012.
- [2] BASARNAS, "Berita Negara Republik Indonesia," 2015.
- [3] A. Zuhdi and Sunaryo, "Analisis Kemampuan Self-Righting Kapal Model tanpa Awak Dengan Pendekatan Stabilitas Menggunakan Hydromax Pro," Universitas Indonesia, 2014.

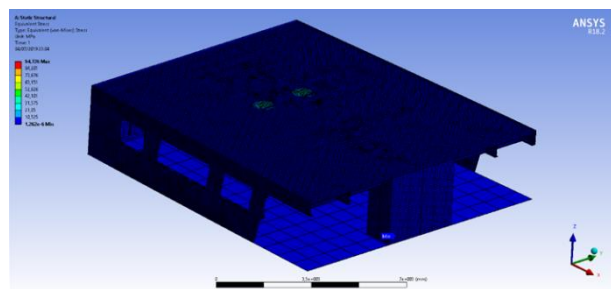
- [4] H. Akyildiz and C. Şimşek, "Self-Righting Boat Design," *Sayı*, vol. 6, 2016.
- [5] K. C. Thatcher, "Self-Righting Craft," *J. Westlawn Inst. Mar. Technol.*, vol. 7, no. 3, p. 12, 2013.
- [6] T. Cepowski, "The prediction of the Motion Sickness Incidence index at the initial design stage," *Zesz. Nauk. / Akad. Morska w Szczecinie*, vol. 31, no. 103, pp. 45–48, 2012.
- [7] D. P. Putra, D. Chrismianto, and M. Iqbal, "Analisa Seakeeping Dan Prediksi Motion Sickness Incidence (MSI) Pada Kapal Perintis 500 DWT Dalam tahap Desain Awal (Initial Design)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 3, 2016.
- [8] B. Jiwa and H. A. Kurniawati, "Desain Self-Propelled Car Barge untuk Distribusi Mobil Baru Rute Cikarang Bekasi Laut (Cbl) – Tanjung Perak," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [9] K. Olausson, "On Evaluation and Modelling of Human Exposure to Vibration and Shock on Planing High-Speed Craft," KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2015.

## LAMPIRAN

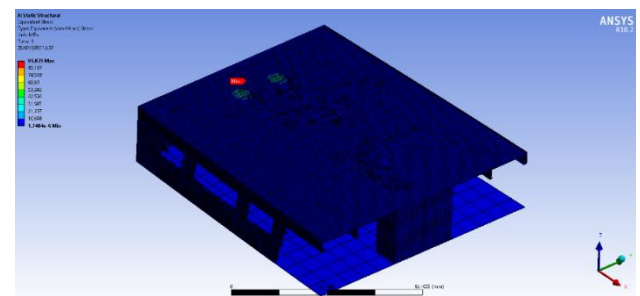
### A. Hasil Simulasi Model Existing SK1- LC4



### B. Hasil Simulasi Optimasi SK11 - LC4



### C. Hasil Simulasi Optimasi SK11 - LC4 – LP3



### D. Hasil Simulasi Optimasi SK11 - LC4 – LP4

